

生態工法與水理參數之量化關係探討

林鎮洋^[1] 李祖川^[2]

摘 要 河溪系統是集水區管理中最基本且最重要的單元，台灣地區海拔 100 公尺以上之高山丘陵地佔全台面積 71%，山勢險峻，河溪治理防災工作長久以來便持續進行。根據觀察，這些集水區河溪治理工程往往較注重安全性和實用性，而較少考慮生態環境因素。近年來隨著國人環保意識的提昇及民眾戶外休閒旅遊的激增，大規模河溪環境親水綠美化工作遂逐步受到重視，如宜蘭冬山河親水公園、台北市虎山溪、內厝溪、貴子坑溪等，但嚴格來說部份設施僅為了安全、親水、景觀需求而設計，仍少考慮到環境生態層面，這些設施充其量只是「概念性的生態工法」。因此兼顧安全、景觀、水質水量、親水及生態而發展出符合保育需求之生態工法，乃時勢之所趨，值得進一步研究。

本文歸納近年國內外生態工法研究成果，藉由生態調查資料較為豐富之七家灣溪，探討河溪流況、流速、流量及水深等水理特性與生態保育之關係，希望由關鍵水理參數之確認，進而融入工程設計規範中，使工程施工能兼顧生態環境，藉此提高工程設計水準，累積豐富的施工經驗，以期順利推動近自然生態工法，營造土木與環境雙贏的局面。

關鍵詞：生態工法、焦點生物、生態指標、水理參數。

QUANTIFYING THE RELATIONSHIP BETWEEN STREAM PHYSICAL PARAMETERS AND ECOLOGICAL CONSERVATION

Jen-Yang Lin* and Tsu-Chuan Lee

Department of Civil Engineering, National Taipei University of Technology,
Taipei, 106 Taiwan, R.O.C.

^[1] 國立台北科技大學土木系暨環境所副教授

^[2] 國立台灣大學環工碩士、台北科大水環境研究中心助理研究員

* FAX: 02-2711-6224; E-mail: jylin@ntut.edu.tw

ABSTRACT Taiwan is a mountainous island nation, with more than 71 percent of its land area covered by mountains or hills 100 meters or higher in elevation. Due to stability concerns, traditional river engineering work has always emphasized on safe and practical designs, but not necessarily ecology or environment ones. In recent years, however, environmental awareness and the demand for outdoor recreation have risen rapidly. Large-scale river "beautification" projects have received considerable attention and many have been implemented. Examples include the Tongshan River Park in I-LAN County and several urban creeks around Taipei City. On the other hand, still relatively few projects are designed for maintaining ecological balance or habitat protection and restoration. In this paper, a brief description of the status of activities regarding "ecological engineering methods" in Taiwan is given. A case example, i.e., efforts made for saving the endangered Formosan Salmon is described, with emphasis on the quantification of the relationship between stream physical parameters and habitat requirements for the treasured fish.

Key words: ecological engineering method, flagship species, ecological criteria, hydrologic criteria

一、前言

長期以來，水資源開發與淡水生物資源保育工作之間，始終存在相當的衝突與角力。究其原因，人類與其他生物在水資源的利用上，固然具有排他性；但在絕大多數的案例中，爭執的焦點卻往往是工程設計忽略生態考量、悖離焦點生物（flagship species）的實際需求、施工過程或其品質對水域環境的負面衝擊遠大於設計本身、生態學家未能適時提供設計人員有效資訊或欠缺危機處理的技巧等。顯見水資源開發與生態保育兩者之間，仍存在極大的空間，有待相關領域的學者專家攜手合作，共思更符合生態原則的工程設計。

美國生態工法運用於水資源的經營及管理，經過了很長一段時期的演變，大體來說可分為下列三個時段：①1970 年代以前，重點為水利運用及控制，如給水、排水工程，主要考量為經濟發展。②1970 年代到 1980 年代，環境保護意識高漲，水資源工程之推動需考量對環境之衝擊，主要考量為水質對人體健康之影響。③1990 年代以來，集水區整體性管理之重要性為政府及民間之共識，對於水質保護目標之訂定。以保護人體健康及生態系統為兩大宗旨。河川復健（指恢復河川到其自然之狀況）、棲地保護皆為任何水資源開發管理工作必須考量之項目（林鎮洋等，2000）。

台灣的發展模式與美國相近，早期野溪整治工程主要是配合治山防洪計畫及水土保持或防災工程進行，如基隆市自八十一年起至八十七年利用西部地區治山防洪計畫，整治了 31 個河段，在這些整治計畫主要以河川護岸之安全性為考量，近一、二年則陸續幾個工程納入生態保育及親水理念，另外，如台北市政府為配合戶外休閒登山步道，將以前災害潛在區不易親近的小溪以較符合生態方式整治，使其賦有親水功能。國內生態工法研究尚在起步階段，在文獻資料中相關探討皆以案例、圖片為主，廣泛之生態調查資料及量化數據相當缺乏。

二、文獻回顧

生態工法之觀念乃源自於德國及瑞士，近年來正逐步推展至世界各國。在 1938 年德國 seifert 首先提出近自然河溪整治的概念，指能夠在完成傳統河流治理任務的基礎上可以達到接近自然、廉價並保持景觀美的一種治理方案（高甲榮，1999）。野溪系統在集水區管理中是一個重要水文單元，過去的野溪治理工程主要是減輕或避免野溪災害所造成之損失，而當今治理工程近二十年來漸漸注重對於生態之影響及野溪景觀與其周圍環境之和諧，考慮到生態之治理概念有眾多相似名詞，如近自然河溪管理（near natural river and stream

management)、近自然荒溪治理(near natural torrent control)等,在德國稱之為河川生態自然工法,澳洲稱為綠植被工法,美國稱為生態工程(ecological engineering),日本則稱為近自然工法、近自然工事(中興大學,1998),本文稱為生態工法(ecological engineering method)。這些河溪生態系統管理慣用語,並無嚴格科學定義,但其中包含了各式各樣思想、觀念、觀點、方案與實踐,所以在發展上有相當大之延伸性。在水利工程(hydraulic engineering)範疇亦有生態水利工程(ecohydraulic engineering)一詞,指將生態保育納入考慮之水利工程,如魚道(fishway)之設計等。生態水理學(ecohydraulic)是一個新的名詞,於1996年在國際水理學會(iahr)成為一獨立的部門(section),在三次國際生態水理研討會所規劃之議題可看出幾個發展方向(吳富春,1999):①水利工程對生態之衝擊評估,②河溪棲地調查研究,③生態流量之估算,④河溪棲地模式之發展,⑤河溪棲地復育工程,⑥魚道與魚類保護設施之設計,⑦河溪棲地管理等。

1989年生態學家 mitsch 提出生態工程(ecological engineering)觀念,乃是運用生態系之自我設計(self-design)能力為基礎,強調透過人為環境與自然環境間之互動達到互利共生(symbiosis)目的。另外,在此之前已有相當多應用,如 odum 等曾於1962年提出應用自律行為(self-organizing activities)之生態工程之觀念,將生態工程應用於處理污水,並先後於1967年及1973年應用此觀念於鹽水湖及濕地(wetland)處理污水方面。

在許多歐美及日本的實例中,可看到現今的河溪治理工程,大多是採用自然材料,而且盡可能的不去破壞當原有的環境。大陸方面(如北京中央研究院)研究推行生態工程比較沒有考慮親水、遊憩、景觀,大都以污染物淨化處理以及控制土壤沖蝕為生態工程主要發展重點,南京方面對海岸濕地自然保育方面亦有許多研究,這一類的案例不勝枚舉,而它山之石可以攻錯,如今台灣強調生態工法,如能從這些案例中加以學習,相信對生態一定有相當大的幫助。

三、水理參數與生態保育之量化關係

以流況、流速、流量及水深來分析水理參數與水中生態保育的關係,發現這些水理參數除交互影響外,亦會影響水中水溫、水質及底質石粒徑分佈,水溫、水質及底質石對於某些水中生物,是該組群存續的限制因子(limiting factors)。目前對於特定保育類生物或大型流域復育計畫已漸漸建立量化關係,例如大甲河流域七家灣溪櫻花鉤吻鮭棲地保育,美國佛羅里達州埃佛格雷生態系統(florida everglades ecosystem)奇色米河(kissimmee river)復育工作等,藉由大量且長期調查建立其生態指標(ecological criteria),以下介紹此二案例之水文指標(hydrologic criteria),雖然這些水理參數有其唯一性或獨特性,但可作為其他河溪生態工法之參考。

1. 水理參數

(1) 流況

在相關河川棲地研究中(leopold, 1969; slater, 1987; harper, 1995),可將水流型態種類歸類為水潭(pool)、緩流(slow run)、湍流(riffles)、急流(rapids)、岸邊緩流(slack)、迴流(backwater)七種流況。從魚類溯游行為模式研究(吳富春,2000)顯示,魚類溯游行為模式可分為三個區域:減速→休息區,休息→加速區,加速→休息區,因此,河道中必須提供不同之流況以符合其行為模式。hunter(1991)認為河道流況必須多樣化,方可提供魚類各項需求,並指出在直流(straight)或曲流(meandering)河道寬度5~7倍長度之河段,必須具備水潭(pools)與湍流(riffles)。

(2) 流量

水利引水利用常導致溪流的流量降低,甚或部份溪段的乾涸,為了保障水生生物的存續、維持魚業資源、同時避免枯水期溪流水質的惡化,必須保有溪流內基流量(minimum flow or base streamflow)。魚類生態學者必需先瞭解溪流內流量與魚類棲地、溪流水文與棲地基本品質、水量重行分配與魚類棲地等關係,才能作出有效的建議,供經營管理者對水資源進行合理調控。

(3) 流速

河溪水流流速直接影響水中生物之繁衍與覓食,流速太高不利繁衍,流速太低減少水中溶氧及具有集溫效

果。

(4) 水深

足夠的水深，可避免因頃注水流造成過度的亂流，正確配置的水池形狀，可塑造多樣水流。河道中連續水池間的水面落差，應依據標的魚種的游泳與跳躍能力考量。

2. 七家灣溪櫻花鉤吻鮭水理條件

根據調查顯示（邱建介，1991），目前櫻花鉤吻鮭的分布，是以武陵農場迎賓橋的七家灣溪上游為主，上溯至桃山溪六號攔砂壩以下的溪段。若以水深、流速、底質粒徑及溪流內遮蔽物的有無來分析櫻花鉤吻鮭的微棲地，發現隨水溫變化、個體成長及行為模式，櫻花鉤吻鮭所使用的微棲地亦有所差異（戴永禎，1992），參閱表 1。

表 1 顯示不同生命階段櫻花鉤吻鮭之環境條件

Table1 Habitat conditions for the Formosan Salmon during different life periods.

生命階段	時間(月)	棲地型態			
		水溫(°C)	流況(m/sec)	底質(cm)	水深(cm)
卵	10-11	10-12	0.15	0.2-6.4	5-52
仔鮭	11-	7-15	岸邊緩流	-	-
稚魚	12-2	5-14	岸邊靜水區	-	8-25
幼魚	3-4	8-16	緩流區	礫石及卵石	30
亞成鮭	5-9	9-16	棲地歧異度大		
成鮭	10	10-16	棲地歧異度大		

依據研究成果（Tsao, 1998）櫻花鉤吻鮭隨體型長短及繁殖所棲息水深有所不同，體長 5 公分以下之仔魚大多集中於水深 0.2~0.68 公尺，而體長 5-10 公分之幼齡魚多集中於水深 0.22~1.01 公尺，體長大於 18 公分，則集中於 0.25~1.05 公尺。仔魚多集中水流速 0.08 m/sec 之緩慢流速流域，而幼齡魚則集中流速 0.12~0.90 m/sec 之水

域中，成魚多集中於流速 0.19~1.00 m/sec 之水域中。

由以上敘述瞭解其環境需求，仔魚多集中水流速度緩慢與溪流內遮蔽物充足的區域；目測體長超過 5 公分的幼齡魚則多半移入水位較深、水流速較高（0.1 至 0.86 m/sec）的水域，且對溪流內遮蔽物的依賴程度不高。一齡以上的成魚喜好使用溪水較淺、水流速較緩（低於 0.2 m/sec）且溪流內遮蔽物豐富的位置休息；或溪水較深、水流速較高（0.6 至 1.1 m/sec）且溪流內遮蔽物缺乏的位置覓食。

近期在一項櫻花鉤吻鮭棲地護岸工程調查魚群分布與微棲地使用之資料顯示：依現場測量估算該區水量約 7 CMS，水域較寬處可達 30 公尺以上，較狹窄處之溪寬亦有近 20 公尺。在 253 個測量點上所估算之溪深以 0.3 至 0.6 公尺為主、流速則均勻分布在 0.4 至 1.3 m/sec 間，流速較快之測點數量偏高。櫻花鉤吻鮭，所使用的棲地以流速較緩的棲地為主（如圖 1）。例如：3 隻櫻花鉤吻鮭的微棲地流速均低於 0.36 m/sec，它們長度分別為 30cm，25cm 及 16cm，棲息環境皆有擾流狀況；究其所以，溪流內遮蔽物之有無扮演了關鍵性的角色，絕大多數觀察到的魚群，都出現在巨石堆所形成的擾流裝置後方或下方。由此可見，低流速、巨石嶙峋的深水潭，仍是魚群渡過洪汛期的必要棲所。

櫻花鉤吻鮭對生殖棲地的物理因子亦有嚴格的要求，傾向水位較淺（0.1 至 0.39 m）、水流速較緩（0 至 0.3 m/sec）、底質由中小型卵石、礫石所構成的環境，圖 2 櫻花鉤吻鮭繁殖棲地水理條件傾向圖。

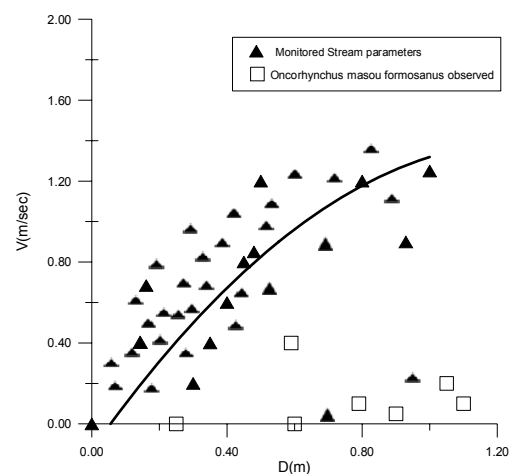


圖 1 櫻花鉤吻鮭棲地水理條件傾向圖（數據資料摘自大豐工程顧問公司，2000）

Fig.1 Survey results of hydraulic conditions and Formosan Salmon observations.

3. 奇色米河復育計畫

位於佛州南部的 Everglades 生態系統擁有美國最大的淡水沼澤地，北起奇色米湖（Lake Kissimmee），南至佛羅里達海灣，西起墨西哥灣，東臨大西洋總面積達四萬餘平方公里，區內有邁亞密（Miami），羅德島堡（Fort Lauderdale）及西棕櫚灘（West Palm Beach）等大城、俄奇卻比湖（Okeechobce Lake）以及二個國家公園。此一區域是佛州人口密集之地，農產（甘蔗、水果）豐富，也是世界級的觀光勝地。由於多年來的人口增加，社區開發，大量的沼澤地被排水填平做農業或住宅使用，如與 1900 年比較，此生態系統的範圍已減少到一半左右，另外，由於供水的需求，建造了一系列的渠道系統，也把區內主要河流如奇色米河（Kissimmee River）截彎取直，以利水利上之效率，而過度的農業及社區開發，帶來了大量的污染，棲息地的減少，也威脅到稀有動物如佛州豹以及鱷魚的生存。

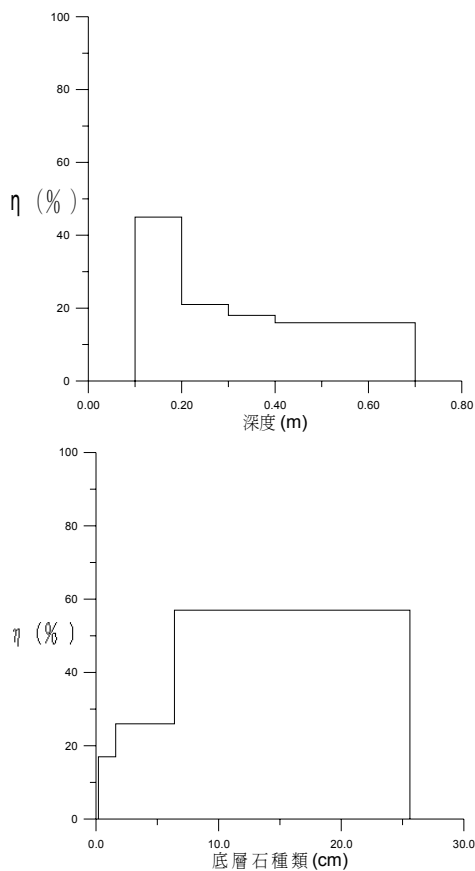


圖 2a 櫻花鉤吻鮭繁殖棲地水力條件傾向圖（分析數據來自 Tsao, 1998）

Fig.2a Hydraulic conditions for the Formosan Salmon habitat. (Source: Tsao, 1998)

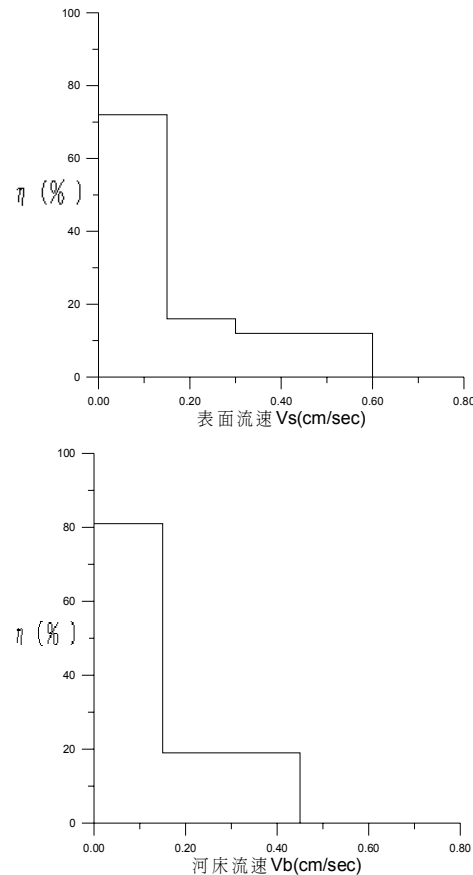


圖 2b 櫻花鉤吻鮭繁殖棲地水力條件傾向圖（分析數據來自 Tsao, 1998）

Fig.2b Hydraulic conditions for the Formosan Salmon habitat. (Source: Tsao, 1998)

在佛羅里達州埃佛格雷生態系統（Florida Everglades Ecosystem）主要河流奇色米河（Kissimmee River）復育工作，該復育工作希望建立復育之生態指標（ecological criteria），在主要水力指標流量（hydrologic criteria flow）至少必須達到流量不間斷，Shen（1994）指出以生物之觀點，平均流速應該介在 0.24~0.55 公尺/秒之間，河道斷面 60%之流速應高於 0.24 公尺/秒，主要考慮流速太低將使水中溶氧不足，流速太高將影響生物之覓食、繁殖等行為。

另外，Tennant（1976）研究顯示河川平均水深度達 0.3 公尺，流速達 0.23 公尺/秒時，若以魚類為棲地品質

指標，大多數河川生物之最小生理需求條件如下：（1）河川水量達年平均流量 10%~30%時，可以維持多數魚種在不同時期的短暫存活，（2）河川水量達年平均流量 30%~60%所形成之流速與水深，有利魚與類的生存與游動，（3）達 60%~100%年平均流量，可形成多種湍流與緩流的水域，適於多數魚種的棲息。

四、水力分析

自然河道與平順之人工 RC 結構河道之水力現象不同，自然河道蜿蜒、流況豐富。透過適當河道結構物可以改變流況、流場、流速、水深、水力停留時間等水力參數。在德國、日本及台灣有許多案例，以河床拋石、石梁工法、導流裝置（deflector）及砌石護岸，增加流況歧異度、產生水潭／急流、抬高水位、增加下游流速、提供魚類避難場所及達到穩定河床等功能，參閱圖 3。以下分別敘述河道中常用之結構物及其水力分析。



圖 3 士林平菁街野溪

Fig.3 The river engineering projects on the Pingchin Creek.

1. 拋石工法

河床拋石為在河道中將阻流石不規則地分佈河床，如圖 4a 所示，因為河床粗糙度與阻流石影響，河道中之流速必須考慮河床與阻流石之抗阻係數。德國農工學會（DVWK, 1991）提出下列式子計算河道之流速與流量：

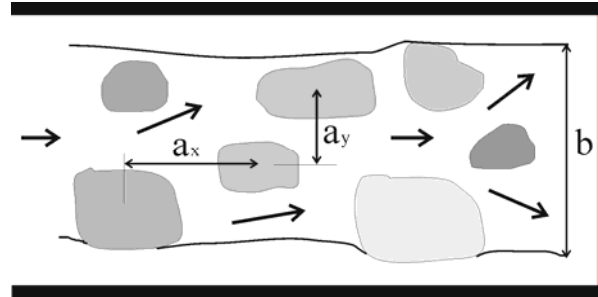


圖 4a 河床拋石河道中將阻流石不規則地分佈河床

Fig.4a The distribution of rubble in the channel.

$$V_m = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8gr_{hy}I}$$

$$\text{其中, } r_{hy} \text{ (水力半徑)} = \frac{A}{I_u}$$

A：斷面積

I_u ：潤周

λ ：抗阻係數

I：河床坡度

g：重力加速度

河道之流量為：

$$Q = A \cdot V_m$$

(1)河床抗阻係數 (λ_0)

不同河床狀況下之河床抗阻係數 λ_0 ：

①阻流石粒徑較小 ($d_s < 0.6m$)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = -2 \log \left(\frac{k_s / r_{hy}}{14.84} \right)$$

當 $k_s < 0.45r_{hy}$ ， $k_s \doteq d_{90}$

②阻流石粒徑較大 ($0.6m < d_s < 1.2m$)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = -3.2 \log \left[\left(0.425 + 1.01I \right) \frac{k}{h_m} \right],$$

I：1：8~1：15

d_s ：0.6~1.2 公尺

$$k = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) d_s$$

h_m : 平均水深

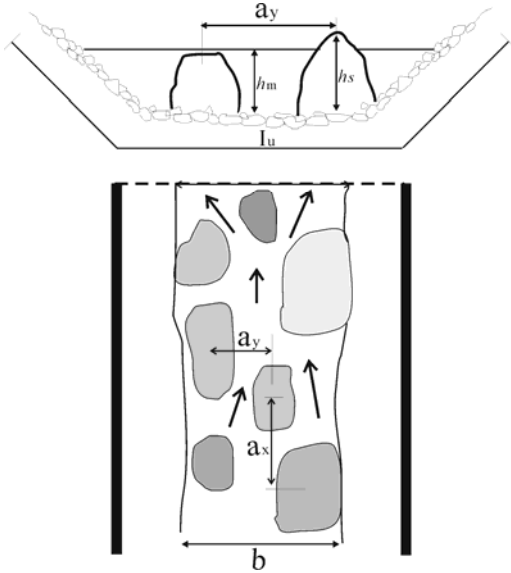


圖 4b 河床拋石河道中將阻流石不規則於分佈河床

Fig.4b The distribution of rubble in the channel.

(2)阻流石抗阻係數 (λ_s)

$$\lambda_s = 4C_w \frac{\sum A_s}{A_{o,ges}}$$

$$C_w \doteq 1.5$$

$A_s = d_s \cdot h_m$ = 流體衝擊阻流石之表面積

$A_{o,ges}$: 河道底面積

C_w : 形狀係數

(3)河道總抗阻係數 (λ_{ges})

$$\lambda_{ges} = \frac{\lambda_s + \lambda_0(1 - \varepsilon_0)}{(1 - \varepsilon_v)}$$

其中，

$$\varepsilon_v = \frac{\sum V_s}{V_{ges}} = \frac{\text{水面下阻流石體積總和}}{\text{河道容積} A \cdot l}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\sum A_{o,s}}{A_{o,ges}} = \frac{\text{阻流石總底面積}}{\text{河道底面積} I_u \cdot l}$$

簡易計算時，可省略 ε_0 及 ε_v 效應（約 8% 誤差）：

$$\lambda_{ges} = \lambda_s + \lambda_0$$

$$\text{其中， } \lambda_s = C_w \frac{4A_s}{a_x \cdot a_y}$$

$$A_s = d_s \cdot h_m$$

(4) 最大流速

$$V_{\max} = \frac{V_m}{1 - \frac{\sum A_s}{A_{ges}}}$$

A_{ges} : 河道斷面積

(5)流況

以福祿數 (F_r) 判定流況，小於 1 為常流況（亞臨界流），

大於 1 會產生奔騰現象（超臨界流）。

$$F_r^2 = \frac{V_m^2 \cdot b_{sp}}{g A_{ges}}$$

b_{sp} 為水面寬。

(6)設計參數

表 2 拋石設計參數

Table2 Design parameter of rubble distribution in the channel.

設計參數	數值
石子間隔	$a_x = a_y = 1.5 \sim 3 d_s$ $a_y - d_s > 0.3m$
水深	$h_m / h_s < 1.5$
坡度	$I \leq 1:20$

註： a_x 及 a_y 參閱圖 4b。

2. 石樑工法

石樑工法為在河道中以大型天然石材構築，坡度較陡處可以連續設置，形成階梯式淺潭（step pool）及淺瀨，使上游流速降低，沈降性增加，具有攔砂性質，在低流量時可保有一定水位，在高流量時可形成保護魚類之避難所。



圖 5 石樑工法

Fig.5 The case of the riprap method.

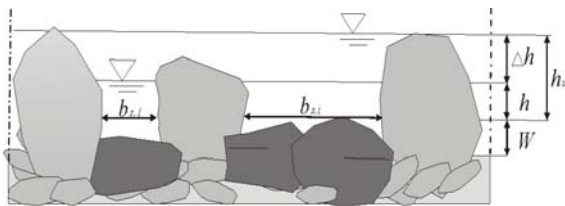


圖 6 石樑工法橫斷面圖

Fig.6 Schematic of the riprap method.

(1)流量

石樑工法因為越流及逆流影響，形成上下游水位差，逆流係數 σ 與石樑下游上游水深比 h/h_u ，Perissler (1992) 推求流量公式如下：

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sigma \sum b_s \sqrt{2gh_u}^{3/2}$$

其中， μ ：流量係數

σ ：逆流係數

$\sum b_s$ ：通水寬度總和

h_u ：上游水位

h ：下游水位

g ：重力加速度

μ 流量係數依堰頂石材形狀，可分為兩類：

石材形狀銳利：

$$\mu \approx 0.5 \sim 0.6$$

石材形狀圓滑：

$$\mu \approx 0.6 \sim 0.8$$

(2)流速

$$\text{石樑工法產生最大流速 } V_{\max} = \sqrt{2g\Delta h}$$

Δh ：水位差

(3)流況

連續石樑間形成之水力衝擊，以逸散率 E 表示，當 E 介於 $150 \sim 200 W/m^3$ ，可形成適當之魚類避難場所。

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{b h_m I_m} = \frac{\rho g \Delta h Q}{A \cdot I_m}$$

h_m ：平均水深

b ：平均寬度

A ：橫斷面積

I_m ：內側長 ($l - d_s$)，其中 l 為連續石樑

工法間隔長

(4)常態水量溢水口

魚類跳躍高度研究顯示，針對不同水位差以台灣石賓為試驗對象，瞭解水位差 (Δh) 超過 35 公分時，魚類通過率 (η) 明顯降低，水位差與跳躍通過隔版之通過率表如下 (胡通哲，1999)：

表 3 台灣石賓之跳躍通過隔版通過率與水位差表

Table3 Relationship between Δh and η .

水位差 (Δh , cm)	通過率 (η , %)
27	34
35	32
45	10
55	0

3. 導流裝置 (deflectors)

導流裝置 (側堰) 目的在增加多樣化流況，藉由限制溪段寬度提高流速、改變流向及形成深潭／淺灘等棲地功能。另外，導流裝置亦有消能降低河岸沖刷，其大小形狀依實際地勢設計，設計角度 $30^\circ \sim 60^\circ$ ，以三角形導

流側堰較佳，可避免洪峰流量對側堰之沖蝕。

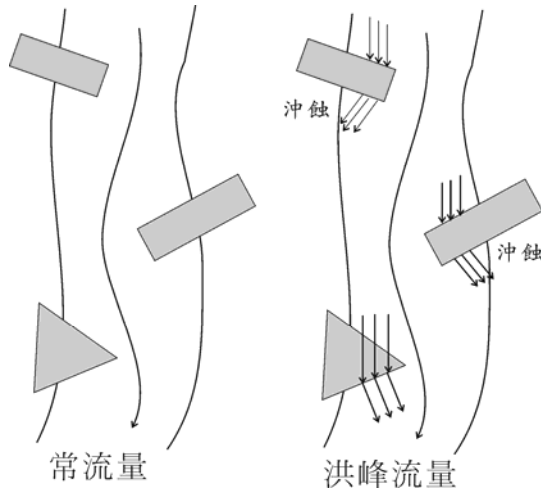


圖 6 導流設施設置

Fig.6 Schematic of deflectors.

側堰形成水位上昇 ΔH ：

$$\Delta H = \lambda \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

ΔH ：側堰所形成之上昇水位

v ：上游平均流速

$$\lambda = \frac{S_1}{S_0}：\text{阻流係數}$$

S_0 ：河川斷面積

S_1 ：側堰斷面積

4. 護岸塊石之疊砌

有關暴雨洪水流量時對護岸之沖刷影響，依據日本國土開發技術研究中心編著“護岸之力學設計法”（山海堂，1999），對位於溪床或岸坡鬆散或一體性較弱之塊石能抵抗曳引力（掃流力），而不發生移動之最小粒徑可由下式決定：

$$D_m = \frac{1}{E_i^2 \times 2g \left(\frac{P_s}{P_w} - 1 \right)} \times V_o^2$$

D_m ：塊石之平均粒徑（m）

V_o ：代表流速（m/sec）

P_s ：塊石之密度（kg/m³），一般用 2.65。

g ：重力加速度（m/sec²）

P_w ：水之密度（kg/m³）

E_i ：亂流影響係數（ $E=1.2 \sim 0.86$ ，亂流小係數值大，反之則小）

上式為水平時所用，若坡面之傾角為 θ 時則塊石粒徑加以修正，其修正值為 K 。

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}}$$

ϕ ：材料於水中之安息角；自然石塊 38° ，碎石 41° 。

五、生態考量之工程設計案例

藉由工程方式改變水流速度，不但可以改變河溪水溫，亦可提供較理想的水生物棲地條件。而改變流速之措施有二：

- (1) 增加流量：可採用越域引水或抽取地下水方式增加河川流量；
- (2) 改變河道幾何條件：其方式相當多，可透過改變河道結構物方式，調整流況、流場、流速、水深、水力停留時間等水理參數。

近年來德國、日本及台灣有許多案例，以河床拋石、石梁工法、擾流裝置（deflector）方式，增加多樣化流況，藉由限制溪段寬度提高流速、改變流向及形成深潭/淺灘、提供魚類避難場所及達到穩定河床等功能。

雪霸國家公園管理處在近期依據上述理念完成護岸工程設計案例，概述如下：鑑於櫻花鉤吻鮭棲息的河段已逐年減少，而棲息區域的環境又持續遭受或人為或上述天然災害的侵襲影響，仍積極的一方面以人工方式從事復育工作；一方面以工程技術實行維護或改善棲息地的相關計畫，歷經數次調查及評估，在武陵農場廢棄露營場之河段，進行護岸整治工程。

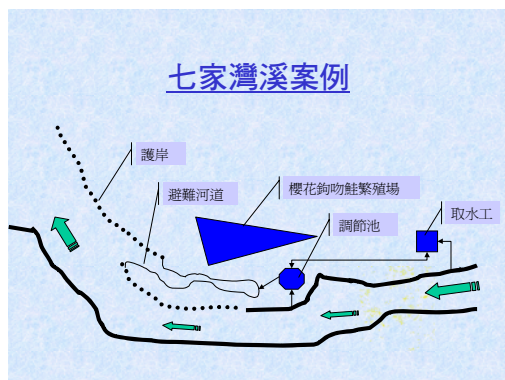


圖 8 護岸整治工程設計配置圖

Fig.8 Schematic of habitat restoration protect on the Chichiawan Creek.

護岸設置時，首先考量防止河岸或堤防遭受侵蝕，同時兼有生態環境保全、親水性及景觀性等功能；因此護岸設計時需要針對上述功能考慮安全性、耐久性、施工性、經濟性及維護管理。治理河川正積極推動生態工法或近自然工法，俾便達到自然環境之生態系不被破壞，且又能持續，更進一步追求特有動植物之復育，因此設計時需對護岸之材料以採用石塊、木材及植生為主。七家灣溪為瀕臨絕種之櫻花鉤吻鮭重要棲息地。雨季及颱風季來臨時往往雨量激增，致使溪水暴漲，衝擊兩岸邊坡之崩坍，同時洪水挾帶大量泥沙淤積於河床，使櫻花鉤吻鮭重要棲地，遭受重大破壞，尤其在該溪與高山溪交會處下游約 150 公尺至 350 公尺之河岸受到沖蝕破壞多處。基於護岸之功能和七家灣溪特殊生態環境，對護岸工程之規劃、設計、主要考量有下列幾點：

1. 護岸工應有足夠穩定強度，不致因土壓力，產生傾倒、滑動等破壞。

依據現場勘察及鑽探報告，該地區地表下 2 公尺深為未固結之岩塊，由上游漂至本地之岩屑偶夾有河床卵石、礫石層及砂土沉泥，地表下 2 到 5 公尺為河床的卵礫石堆積層偶夾砂土沉泥。由上述知該區土石之剪力強度參數 c 值很低，安角約 34° 到 48° 。依據該鑽探報告在未考慮保護狀況下，邊坡高度 3 公尺坡角 60° ，安全係數可達 1.28，因此未來護岸高度 3 公尺，坡角 60° ，甚至較陡坡角，產生滑動破壞機率不大。

2. 護岸基腳應能安全支撐護坡結構護物

依據現場河岸堆積岩屑，清楚顯現它們是未固結而

形狀扁平黑色之千枚岩(phyllite)。再經現場測量得知河岸欲設置護岸段，與上下游河床高程相差不大，可見洗掘河床深度不深，因此基腳或塊石若能埋入河床下 1 公尺可達穩定，對護岸即能安全支撐。

3. 護岸工應有足夠防冲刷強度，不致因水流曳引力，造成崩塌。

依據七家灣溪水文洪峰流量記錄及現場勘查了解，七家灣溪平常水深約 50 公分左右，曾發生最大流量為賀伯颱風時，溪水位雍高約達 2 公尺。本護岸工程設計以此為耐冲刷安全之保護目標。

4. 防止護岸坡體內土砂之流失

為避免現場澆製混凝土污染水質，護岸工法以岩石堆疊為原則，並回填土砂。因此有可能因坡體內之孔隙水壓關係，使得孔隙水排出同時帶出土體內土、砂，造成淘空現象，引起岸坡塌陷。為防止土砂流失，應考慮採用地工加勁格網強化之。

5. 防止水質、水量產生變化

七家灣溪之特殊生態環境，應避免護岸工程施工引起水質改變，而招致櫻花鉤吻鮭棲息環境惡化，將使該魚類生存空間更加萎縮；因此以護岸以石材為主要材料，就地取材時應同時依櫻花鉤吻鮭棲息特性，進行河道整理。

6. 長期完整性發展之配合

於本工程場址上方陸域之一隅將闢建櫻花鉤吻鮭魚苗繁殖場，未來整個基地除復育、研究功能外，將導入教育宣導及有限制之休憩機能。執行生態工程時需注意事項：

- (1) 避免施工造成生態的不必要傷害：溪水如何導流、如何防止灌漿作業污染溪水、施工前該區應有前置工作。
- (2) 溪流內與濱溪環境的維護：施工前後溪段內魚及其它生物原本使用的空間無論質與量均應儘可能保持，以免破壞其棲地多樣性。
- (3) 避免因就地取材而破壞溪床：考量引入天然石材進行護岸補強，而非過度利用施工範圍溪段內的天然巨石。
- (4) 景觀維護：儘可能使用天然材料，避免因人工材料對景觀所造成的破壞。

- [illegible]

Fig.9 Schematic of cross-section of bank engineering.

誌謝

参考文献

-

Fig.10 Schematic of vertical view of bank engineering.

國內對於生態工法理論探討或生態衝擊調查評估尚在起步階段，而工程界及民眾相當能夠接受生態工法理念、作法，但是缺乏相關規範技術手冊引導，以

- 的荒溪(野溪)治理工程」，北京林業大學學報，第 21 卷第一期 p80-85。
9. 戴永禎(1992)，「台灣櫻花鉤吻鮭之族群生態學研究」，國立台灣大學動物學研究所碩士論文。
 10. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau E. V. (DVWK)(1991), Fischeaufstiegsanlagen Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle.
 11. Hunter, Christopher J. (1991), Better Trout Habitat: A Guide to Stream Restoration and management, pp45-46.
 12. Ophuls, W., (1977), Ecology and the Politics of Scarcity, W. H. Freeman and Company, San Francisco.
 13. Preissler, G. & G. Bollrich (1992), Technische Hydromechanik –3 Auflage, Berlin (Verlag für Bauwesen).
 14. Shen, H. W., G. III Tabios, and J. A. Harder (1994) "Kissimmee River Restoration Study", Journal Water Resources Planning and Management Divis. ASCE, 120: 3: pp: 331-349.
 15. South Florida Water Management District (1995) "Everglades-1995 Annual Report", West Palm Beach, Florida, U.S.A.
 16. Tennant, D. L.(1976), Instream flow need, Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources, pp:359-373.
 17. Tsao, H.S.E., Y.T.Lin, R.Behnke., and E.P. Bergersen (1998), Microhabitat use of Formosan Landlocked Salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*), Zoological Studies, Academia Sinica, 37(4) : 269-281.SCI.